



(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
24.03.2021 Patentblatt 2021/12

(51) Int Cl.:
F28B 1/00 (2006.01) F28D 20/00 (2006.01)

(21) Anmeldenummer: **20195858.4**

(22) Anmeldetag: **11.09.2020**

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO PL PT RO RS SE SI SK SM TR
Benannte Erstreckungsstaaten:
BA ME
Benannte Validierungsstaaten:
KH MA MD TN

(72) Erfinder:
• **SCHMIDT, Matthias**
50825 Köln (DE)
• **LINDER, Marc Philipp**
70199 Stuttgart (DE)
• **RISTHAUS, M. Sc. Kai**
53844 Troisdorf (DE)

(30) Priorität: **23.09.2019 DE 102019125540**

(71) Anmelder: **Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V.**
51147 Köln (DE)

(74) Vertreter: **Fleck, Julia Maria**
Jeck, Fleck & partner mbB
Patentanwälte
Klingengasse 2
71665 Vaihingen/Enz (DE)

(54) **SPEICHERANLAGE ZUR THERMOCHEMISCHEN SPEICHERUNG VON ENERGIE UND VERFAHREN ZUM BETREIBEN EINER SPEICHERANLAGE**

(57) Die Erfindung betrifft eine Speicheranlage (1) zur thermochemischen Speicherung von Energie, mit einer Reaktorvorrichtung (10) umfassend einen von einem Innenmantel (104) eingefassten Reaktionsraum (102), innerhalb dessen ein Feststoff (110) während einer Beladung in einer Hinreaktion unter Zufuhr von Wärmeenergie von einem ersten Zustand unter Abgabe eines Reaktionsfluids in einen zweiten Zustand überführbar ist und während einer Entladung in einer Rückreaktion unter Abgabe von Wärmeenergie von dem zweiten Zustand unter Aufnahme des Reaktionsfluids in den ersten Zustand überführbar ist. Eine hohe Energiedichte ist dadurch erreichbar, dass der Reaktionsraum eine Mischeinrichtung umfasst, mittels welcher der Feststoff während der Hin- und/oder Rückreaktion umlagerbar ist (Fig. 1).

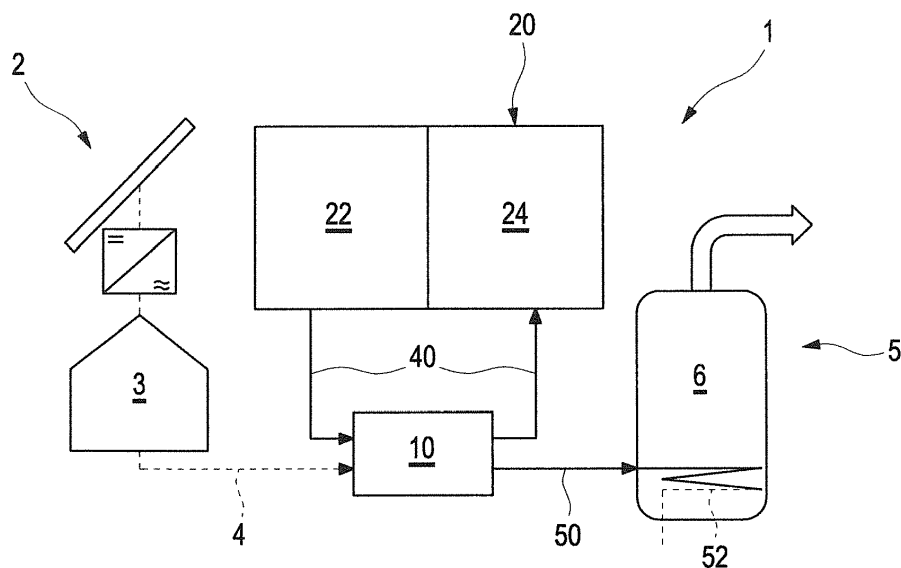
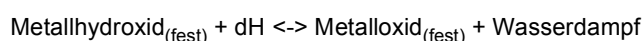


Fig. 1 A

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft eine Speicheranlage zur thermochemischen Speicherung von Energie, mit einer Reaktorvorrichtung umfassend einen von einem Innenmantel eingefassten Reaktionsraum, innerhalb dessen ein Feststoff während einer Beladung in einer Hinreaktion unter Zufuhr von Wärmeenergie von einem ersten Zustand unter Abgabe eines Reaktionsfluids in einen zweiten Zustand überführbar ist und während einer Entladung in einer Rückreaktion unter Abgabe von Wärmeenergie von dem zweiten Zustand unter Aufnahme des Reaktionsfluids in den ersten Zustand überführbar ist.

[0002] Das Prinzip der thermochemischen Speicherung basiert auf dem Einsatz reversibler Sorptionsprozesse innerhalb eines Gas-Feststoff-Systems, wobei die Speicheranlage mittels elektrischer Energie (elektrisch) beladbar ist. Bei der Beladung wird elektrische Energie zunächst in Wärme umgewandelt. Die Wärmeenergie wird einem, insbesondere als Schüttgut vorliegenden (partikulären) Feststoff zugeführt. In dem ersten, energetisch unbeladenen, Zustand wird der Feststoff beispielsweise von einem Metallhydroxid, z. B. Calciumhydroxid, gebildet. Bei Wärmeenergiezufuhr reagiert das Metallhydroxid in einer Hinreaktion unter Freisetzung eines Reaktionsfluids, beispielsweise Wasser bzw. Wasserdampf, zu einem zweiten (beladenen) Zustand, beispielsweise einem Metalloxid (z. B. Calciumoxid), in welchem der Feststoff ein höheres chemisches Potenzial aufweist:



[0003] Das Metalloxid kann als Feststoff gelagert werden.

[0004] Eine Speicheranlage der oben genannten Art ist in der DE 10 2009 052 304 A1 angegeben. Der dabei verwendete Reaktionsraum ist als Durchflussreaktor ausgestaltet. Es hat sich jedoch gezeigt, dass aufgrund ungünstiger thermophysikalischer Eigenschaften das Feststoff-Material ein ungünstiges Fließverhalten innerhalb des Reaktionsraums aufweist, welches nur mittels aufwendiger Materialmodifikation verbessert werden kann. Darunter leiden insbesondere der Wärmeübergang und damit die Leistungsdichte der Reaktorvorrichtung.

[0005] Verfahren und Vorrichtungen zur Speicherung von Wärme sind auch aus der DE 10 2014 101 987 A1 und der DE 10 2015 101 214 A1 bekannt.

[0006] Die DE 10 2015 217 683 A1 zeigt ein Verfahren mit Übertragung von einem festen, teilchenförmigen Wärmeträger auf einen festen Reaktionspartner, wobei es sich um ein Verfahren zur Spaltung von Wasser in Wasserstoff und Sauerstoff handelt, jedoch nicht um eine Speicheranlage zur thermochemischen Speicherung von Energie. Es wird ein kontinuierlicher Betrieb, d. h. gerade keine Speicherung, angestrebt, wobei eine aus wenigstens zwei sequenziellen reversiblen Schritten bestehende chemische Reaktion abläuft. Innerhalb eines parallelen ersten Kreislaufts zur Kreisführung und Speicherung eines festen Wärmeträgers findet eine sensible Erwärmung des inerten Wärmeträgers statt, ohne Ablauf einer chemischen Reaktion.

[0007] In der DE 10 2007 014 230 B4 ist ein Verfahren zum kontinuierlichen Schmelzen anorganischer Salze sowie eine entsprechende Ofenanlage angegeben; um einen solchen Gegenstand geht es vorliegend nicht.

[0008] Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine Speicheranlage der eingangs genannten Art mit einer hohen Leistungsdichte sowie ein Verfahren zum Betreiben der Speicheranlage bereitzustellen.

[0009] Die Aufgabe wird für die Speicheranlage mit den Merkmalen des Anspruchs 1 und für das Verfahren mit den Merkmalen des Anspruchs 14 gelöst.

[0010] Bei der Speicheranlage ist erfindungsgemäß vorgesehen, dass der Reaktionsraum eine Mischeinrichtung umfasst, mittels welcher der Feststoff während der Hin- und/oder Rückreaktion umlagerbar, insbesondere (je nach Drehzahl) verwirbelbar, ist oder umgelagert bzw. verwirbelt wird. Die Drehzahl zur Erzeugung einer Wirbelschicht ist abhängig von der Ausbildung der Mischeinrichtung und des Feststoffes und kann z. B. zwischen 30 und 300 Umdrehungen/Minute betragen (für Calciumoxid bzw. Calciumhydroxid beispielsweise 200 Umdrehungen/Minute, bei einem Reaktionsraumvolumen von 20 l und einer Füllmenge an Calciumhydroxid von 9 kg). Durch die Umlagerung bzw. Verwirbelung in Art einer mechanischen Wirbelschicht (Fluidisierung) tritt während der Beladung eine Vielzahl von Feststoff-Partikeln wiederholt mit den wärmeübertragenden Flächen innerhalb des Reaktionsraums in thermischen Kontakt. So erfolgt der Wärmeeintrag in den Feststoff nicht (nur) mittels Wärmeleitung innerhalb der Feststoff-Schüttung, sondern insbesondere (auch) in Analogie zu einer konvektiven Wärmeübertragung mittels der Feststoff-Partikel. Der für den Leistungseintrag in die Feststoff-Schüttung wesentliche Wärmeübergang wird insbesondere von dem Wärmeübergangskoeffizienten zwischen der wärmeübertragenden Fläche und den (einzelnen) Partikeln bestimmt. Wie Untersuchungen der Erfinder gezeigt haben, führt diese Reaktorausgestaltung bzw. Verfahrensführung im Vergleich zu z. B. Festbettreaktoren zu einer z. B. um den Faktor 100 größeren Leistungsdichte bei vergleichbarer Temperaturdifferenz.

[0011] Mit einer hohen Betriebstemperatur von z. B. 600 °C innerhalb der Reaktorvorrichtung ist die Speicheranlage dadurch betreibbar, dass eine Antriebseinrichtung der Mischeinrichtung, insbesondere durch eine entsprechende Anordnung einer Welle, von dem Reaktionsraum thermisch entkoppelt angeordnet ist. Insbesondere kann die thermische Entkopplung so ausgebildet sein, dass die maximale Temperatur in der Antriebseinrichtung 100 °C oder 80 °C beträgt.

Hierzu kann beispielsweise ein Luftspalt (mit z. B. einer Breite von zumindest 100 mm) zwischen der Antriebseinrichtung und der übrigen Reaktorvorrichtung bzw. dem Reaktionsraum vorhanden sein und die Antriebsvorrichtung nur mittels der Welle an die übrige Reaktorvorrichtung gekoppelt sein. Die Welle verläuft durch den Luftspalt z. B. ohne Isolierung. So wird auf einfache Weise eine Luftkühlung der Welle erreicht.

[0012] In einer bevorzugten Ausführungsvariante ist der Reaktionsraum (insbesondere (rotations-)symmetrisch, z. B. zylindrisch) um eine Mittellängsachse angeordnet und weist die Mischeinrichtung eine auf der Mittellängsachse verlaufende Welle und eine um die Welle rotierbare Rotationsanordnung mit zumindest einem, für eine verbesserte Mischleistung auch mehrere, beispielsweise drei, sich radial erstreckende/n Arm/e auf. Die Welle ist insbesondere über zumindest eine gasdicht ausgebildete Lagereinrichtung z. B. an einer Stirnseite des Reaktionsraums bzw. der Reaktorvorrichtung gelagert. Eine derartige Ausbildung der Mischeinrichtung hat sich als vorteilhaft herausgestellt, da insbesondere eine Verklumpung bzw. Agglomeration des Schüttguts bzw. des Feststoffes vermieden und/oder ggf. aufgebrochen wird. Zusätze bzw. eine Materialmodifikation zur Erhöhung der Fließfähigkeit sind/ist somit nicht erforderlich. So ist zum einen ein verbesserter Wärmeübergang erreichbar. Zum anderen erleichtert dies den Abtransport des Feststoffes durch eine Förderanordnung, wobei die Rotationsanordnung eine vollständig automatisierte Entleerung unterstützen kann.

[0013] Ein Blockieren des Feststoffes bei dessen Austrag, wie es bei anderen Reaktorkonzepten auftreten kann, wird dadurch verhindert.

[0014] Eine besonders gute Mischwirkung mit einer effektiven Feststoffbewegung (weitgehend) ohne Agglomeration ergibt sich, wenn der Innenmantel zylindrisch ausgebildet ist und wenn sich das radial nach außen gerichtete Ende des Arms/der Arme bis an die Innenwand des Innenmantels erstreckt, wobei insbesondere an dem Ende des Arms/der Arme eine Schaufelvorrichtung angeordnet bzw. das Ende von der Schaufelvorrichtung gebildet ist (oder dieselbe bildet). "Bis an die Innenwand" bedeutet vorzugsweise berührungsfrei, sodass eine gute Drehbarkeit gewährleistet ist. Für eine gute Materialdurchdringung kann die Schaufelvorrichtung eine in Laufrichtung zulaufende Kante und/oder Spitze aufweisen, z. B. in Art eines Pflugschars.

[0015] In einer bevorzugten Weiterbildung weist die Reaktorvorrichtung eine Wärmeeintragsanordnung auf, wobei zumindest ein Teil des Innenmantels (insbesondere die Zylinderumfangsfläche und/oder zumindest eine der Stirnseiten) und/oder ein Teil der Mischeinrichtung (z. B. die Schaufeln und/oder Arme) elektrisch (mittels Stromwärme) und/oder induktiv beheizbar ist/sind und/oder wobei dem Reaktionsraum zugesetzte Strukturen (beispielsweise Schüttkörper, wie Kugeln) und/oder der Feststoff induktiv und/oder mittels Bestrahlung (insbesondere mittels Infrarot- und/oder Mikrowellenbestrahlung) beheizbar ist/sind. Die Wärmeeintragsanordnung ist zur Wärmeerzeugung aus elektrischer Energie zur Verwendung bei der Beladung ausgebildet. Eine elektrische Heizeinrichtung zur elektrischen Beheizung des Innenmantels kann beispielsweise auf dessen Außenseite angeordnete Heizelemente aufweisen. Eine derartige Wärmeeintragsanordnung, ohne Verwendung eines (sensiblen) Wärmeträgerfluids zum Wärmeeintrag in den Feststoff, bietet den Vorteil, dass die elektrische Energie bei der Beladung bei einer konstanten maximalen Temperatur zugeführt werden kann. Ein Temperaturabfall über die zur Verfügung stehende Wärmeübertragungsfläche wird vermieden, was einen vergleichsweise höheren Leistungseintrag in die Feststoff-Schüttung erlaubt.

[0016] In einer Weiterbildung der Erfindung weist die Reaktorvorrichtung einen Außenmantel auf, der zumindest einen Teil des Innenmantels unter Bildung eines fluiddurchströmbaren Zwischenraums umgibt. Der Zwischenraum ist vorzugsweise mit zumindest einem, z. B. zwei, Anschlussvorrichtung(en) zur Zu- und/oder Abfuhr eines Fluids versehen. So kann die Fläche des Innenmantels auch bei der thermischen Entladung vorteilhaft zur Wärmeübertragung genutzt werden, wobei der Zwischenraum von einem Wärmeträgerfluid, z. B. Wasser, durchströmt wird. Bei Vorhandensein elektrischer Heizelemente auf der Außenfläche des Innenmantels, d. h. mit Kontakt zu dem Zwischenraum, sind diese zweckmäßigerweise fluiddicht ausgebildet.

[0017] Eine zweckmäßige Beschickung des Reaktionsraums mit dem Feststoff wird ermöglicht, wenn die Reaktorvorrichtung eine Eintragsvorrichtung zum Eintrag des Feststoffes und eine, insbesondere der Eintragsvorrichtung gegenüberliegend angeordnete, Austragsvorrichtung aufweist. Vorzugsweise ist die Eintragsvorrichtung und/oder die Austragsvorrichtung derart angeordnet, dass der Feststoff unter Hilfe der Schwerkrafteinwirkung eingetragen bzw. ausgetragen werden kann. Bei einer (im Wesentlichen) horizontalen Ausrichtung der Mittellängsachse des Reaktionsraums kann die Eintragsvorrichtung z. B. symmetrisch bzgl. des Reaktionsraums, insbesondere mittig auf bzw. in dem (Zylinder-)Mantel, angeordnet sein.

[0018] Zur Vermeidung von Brückenbildung und Verstopfung beim Feststoffeinfuhr- und/oder austrag hat es sich als vorteilhaft erwiesen, wenn die Eintragsvorrichtung und/oder die Austragsvorrichtung zylindrisch ausgebildet ist/sind und einen Mindestdurchmesser von 50 mm, vorzugsweise einen Mindestdurchmesser von 70 mm, insbesondere einen Mindestdurchmesser von 76 mm, aufweisen.

[0019] Vorteilhafterweise weist die Reaktorvorrichtung eine Fluideintrageinrichtung mit einem Fluidauslass auf, mittels dessen das, insbesondere für die Rückreaktion benötigte, Reaktionsfluid in den Reaktionsraum einbringbar ist, wobei der Fluidauslass zur Zerstäubung, insbesondere mit einer oder mehreren Zerstäuber- bzw. Nebeldüsen, des Reaktionsfluids, ausgebildet ist. So kann das Reaktionsfluid großflächig auf dem Feststoff verteilt und eine gleichmäßige Einbringung des Reaktionsfluids und Reaktion des Feststoffes mit dem Reaktionsfluid bewirkt werden.

[0020] Um ein Verstopfen des Fluidauslasses zu vermeiden, ist es zweckmäßig, wenn der Fluidauslass (z. B. entgegen der Schwerkraftrichtung) außerhalb des Reaktionsraums, insbesondere innerhalb der Eintragsvorrichtung (z. B. symmetrisch innerhalb dieser) (oder z. B. in einer anderen, entgegen der Schwerkraft ausgerichteten Ausnehmung des Reaktionsraums), angeordnet ist. Dies ist insbesondere zweckmäßig bei Ausbildung des Fluidauslasses zur Zerstäubung, aber auch bei einer anderen Ausbildung, z. B. in Art eines Brausekopfes. Als geeignet hat sich ein Abstand zu dem Reaktionsraum (d. h. z. B. zu dem Übergang der Eintragsvorrichtung zu dem Reaktionsraum) von mindestens 30 mm, vorzugsweise mindestens 50 mm oder 70 mm, z. B. 80 mm herausgestellt.

[0021] In einer bevorzugten Ausführungsvariante weist die Reaktorvorrichtung eine Anschlussvorrichtung mit einem Fluideinlass zur Abführung des Reaktionsfluids aus dem Reaktionsraum auf. Durch den separat zu dem Fluidauslass vorhandenen Fluideinlass können die beiden Komponenten unabhängig voneinander jeweils für ihren Einsatzzweck optimiert ausgelegt werden. Zur Vermeidung von Verstopfung ist es zweckdienlich, wenn der Fluideinlass außerhalb des Reaktionsraums, z. B. innerhalb der Eintragsvorrichtung, angeordnet ist. Als geeignet hat sich ein Abstand zu dem Reaktionsraum von mindestens 30 mm, vorzugsweise mindestens 50 mm oder 70 mm, z. B. 80 mm herausgestellt.

[0022] In einer zweckmäßigen Weiterbildung umfasst die Reaktorvorrichtung eine pneumatische Schließeinheit mit einer, insbesondere in der Austragsvorrichtung angeordneten, Schließeinrichtung und einer Stelleinrichtung, mittels der der Reaktionsraum während der Hin- und/oder Rückreaktion fluiddicht verschließbar ist, wobei die Stelleinrichtung, z. B. mittels einer (z. B. mindestens 15 mm dicken) Keramikscheibe, von dem Reaktionsraum thermisch entkoppelt ist. Die Schließeinrichtung kann z. B. tellerförmig ausgebildet sein und zum Öffnen z. B. in Achsrichtung der Austragsvorrichtung (nach unten) verschoben werden. Die thermische Entkopplung ist einer hochtemperaturfesten Ausbildung der Reaktorvorrichtung zuträglich, die z. B. Betriebstemperaturen von bis zu 600 °C oder mehr erlaubt.

[0023] Bevorzugt umfasst die Speicheranlage einen Fluidkreislauf mit einer Wärmeübertragungseinrichtung und einer Fördereinrichtung, mittels deren Reaktionsfluid und/oder Wärmeträgerfluid aus der Reaktorvorrichtung, insbesondere aus dem Reaktionsraum und/oder aus dem Zwischenraum, förderbar und unter Wärmeabgabe durch die Wärmeübertragungseinrichtung leitbar ist. Die Wärmeübertragungseinrichtung dient insbesondere zur Wärmeübertragung an eine Wärmesenke (einen Wärmeverbraucher), z. B. eine Wasser-Wärmespeichervorrichtung in Form eines sogenannten Kombispeichers. Der Fluidkreislauf kann zumindest teilweise offen und/oder geschlossen bzw. öffnbar und schließbar ausgebildet sein. Durch diese Ausbildung ist eine Wärmeübertragerfläche zur Wärmeübertragung aus dem Reaktionsraum an die Wärmesenke außerhalb der Reaktorvorrichtung angeordnet und kann entsprechend unabhängig von der Reaktorvorrichtung für die Wärmeübertragung optimiert ausgelegt sein.

[0024] Mittels des Fluidkreislaufs kann beispielsweise während der elektrischen Beladung frei werdendes Reaktionsfluid, insbesondere Wasserdampf, aus dem Reaktionsraum abgeführt und vorzugsweise innerhalb der Wärmeübertragungseinrichtung kondensiert werden. Die freiwerdende Kondensationswärme kann innerhalb der Wärmesenke in einer mit Wärme zu versorgenden Einheit, z. B. einem Gebäude, etwa zur Warmwasser-Bereitstellung genutzt werden. Bei der Entladung kann beispielsweise ein Überschuss an Reaktionsfluid, d. h. mehr als für die Rückreaktion notwendig, in den Reaktionsraum zugegeben werden. Durch die Reaktionswärme kann das überschüssige Reaktionsfluid verdampft und in den Fluidkreislauf mittels der Fördereinrichtung abgesaugt werden. Zu diesem Zweck steht vorzugsweise die Anschlussvorrichtung mit dem Fluidkreislauf in Strömungsverbindung. Die (Kondensation-)Wärme des Reaktionsfluids, das hierbei zugleich als Wärmeträgerfluid fungiert, wird mittels der Wärmeübertragungseinrichtung an die Wärmesenke abgegeben. Das abgekühlte Reaktionsfluid bzw. das entstehende Kondensat kann insbesondere mittels der Fluideintragsvorrichtung, die mit dem Fluidkreislauf in Strömungsverbindung stehen bzw. gebracht werden kann, wieder dem Reaktionsraum zugeführt werden. Denkbar wäre bei der thermischen Entladung auch, dass zunächst ein Wärmeträgerfluid, das auch als Reaktionsfluid verwendbar ist, beispielsweise Wasser bzw. Wasserdampf, in den Zwischenraum zur Wärmeaufnahme eingebracht wird und diesen durchströmt und anschließend den Fluidkreislauf zur Wärmeabgabe über die Wärmeübertragungseinrichtung an die Wärmesenke durchströmt. Anschließend kann beispielsweise das abgekühlte Wärmeträgerfluid bzw. Reaktionsfluid z. B. mittels der Fluideintragsvorrichtung dem Reaktionsraum für die Rückreaktion zugeführt werden.

[0025] In einer teileoptimierten Ausführungsvariante sind die Wärmeübertragungseinrichtung und Fördereinrichtung in einer Förder-/Wärmeübertragungseinheit angeordnet, wobei die Wärmeübertragungseinrichtung zur Wärmeübertragung an ein zweites, insbesondere durchströmendes, Wärmeträgerfluid ausgebildet ist. Vorzugsweise bedient sich die Fördereinrichtung eines Förderprinzips mit Unterdruckerzeugung. Das zweite Wärmeträgerfluid kann dabei vorteilhaft zugleich zur Kühlung der Fördereinrichtung dienen, z. B. um den Unterdruck aufrecht zu erhalten.

[0026] Als besonders vorteilhaft hat sich dabei herausgestellt, wenn die Förder-/Wärmeübertragungseinheit als Ringpumpenanordnung ausgebildet ist, wobei im Betrieb das zweite Wärmeträgerfluid durch ein Kühlfluid, insbesondere Kühlwasser, der Ringpumpenanordnung gebildet ist. Vorteilhafterweise ist das Kühlfluid bzw. (zweite) Wärmeträgerfluid aus dem gleichen Fluid gebildet wie das Reaktionsfluid bzw. Wärmeträgerfluid, z. B. aus Wasser. So kann das Reaktionsfluid nach der Kondensation von dem Kühlfluid aufgenommen werden und die beide Fluide brauchen nicht voneinander separiert zu werden.

[0027] Eine vorteilhafte optimierte Dimensionierung des Reaktionsraums getrennt von einer Feststoffspeichervorrich-

tung ist dadurch erreichbar, dass die Speicheranlage zwei getrennte Speicherräume (innerhalb eines Gehäuses mit mechanischer Trennung oder innerhalb getrennter Gehäuse), zur separaten Speicherung des Feststoffes in dem ersten Zustand und in dem zweiten Zustand außerhalb des Reaktionsraums aufweist. Dies ermöglicht eine beliebige Skalierung von Leistung (betreffend den Reaktionsraum) und Kapazität (betreffend die Volumina der Speicherräume). Dieser Vorteil ist insbesondere für eine saisonale Energiespeicherung im (Einzel-) Gebäude relevant, da hier eine vergleichsweise kleine Leistung bei gleichzeitig vergleichsweise großer Speicherkapazität erforderlich ist. Dabei ist vorzugsweise zumindest eine Förderanordnung vorhanden, mittels derer eine zu reagierende Feststoffcharge (entsprechend einer Füllmenge des Reaktionsraums) in den Reaktionsraum eintragbar bzw., nach der Reaktion, austragbar ist. Auf diese Weise kann ein quasi kontinuierlicher Batchbetrieb der Reaktorvorrichtung ablaufen, wobei der Reaktionsraum mit Feststoff (in dem ersten oder dem zweiten Zustand vorliegend) beschickt wird, der energetische Be- oder Entladevorgang abläuft, nach abgelaufener Reaktion der Feststoff in den jeweils anderen Speicherraum gefördert wird und die Reaktorvorrichtung erneut mit Feststoff beladen wird. Denkbar wären auch das Vorhandensein mehrerer Reaktorvorrichtungen bzw. Reaktionsräume, wobei z. B. während des Feststoffeintrags bzw. -austrags die energetische Be- oder Entladung in dem jeweils anderen Reaktionsraum stattfinden könnte.

[0028] Vorzugsweise ist die Speicheranlage für eine Langzeitspeicherung zur Wärmeversorgung einer mit Wärme zu versorgenden Einheit dimensioniert, wobei die Beladung während einer Warmperiode, insbesondere einer Sommersaison, und die Entladung während einer Kaltperiode, insbesondere einer Wintersaison, stattfinden kann. Dabei sind insbesondere die Feststoffspeichervorrichtung und/oder die Reaktorvorrichtung unter Berücksichtigung der bereitzustellenden Leistung ausgelegt. Bei der mit Wärme zu versorgenden Einheit kann es sich beispielsweise um ein Ein- oder Mehrfamilienhaus, eine Büroeinheit oder Ähnliches handeln. Vorzugsweise läuft dabei innerhalb der Warmperiode ein (vollständiger) elektrischer Beladezyklus und innerhalb der Kaltperiode ein (vollständiger) thermischer Entladezyklus ab. Bei der Beladung wird bei einem Überschuss an elektrischer Energie zumindest eine Charge an Feststoff in die Reaktorvorrichtung gefördert, um dort beladen und, in dem zweiten Zustand vorliegend, anschließend in den anderen Speicherraum gefördert zu werden. Vorzugsweise liegt am Ende der Warmperiode der gesamte in der Feststoffspeichervorrichtung vorgehaltene Feststoff in dem zweiten Zustand vor. Sobald der Wärmebedarf ein Wärmeangebot durch z. B. erneuerbare Energiequellen übersteigt, kann während der Kaltperiode chargenweise nach und nach die thermische Entladung zur Wärmeversorgung der zu versorgenden Einheit stattfinden. Jedoch ist bevorzugt bedarfsweise auch (oder alternativ) ein alternierender Betrieb möglich, wobei nicht ein kompletter Zyklus abläuft, sondern nur ein Teil des Feststoffes, z. B. mindestens eine Charge, beladen und anschließend ein Teil des Feststoffes, z. B. mindestens eine Charge, entladen wird. Die Speicheranlage kann so flexibel und schnell auf Fluktuationen im Energieangebot und Bedarf reagieren. Ein derartiger Betrieb kann insbesondere in einem Übergangszeitraum zwischen einer Kalt- bzw. Warmperiode und einer Warm- bzw. Kaltperiode (z. B. Herbst oder Frühling) zweckmäßig sein.

[0029] Vorteilhafte Ausführungsvarianten des Verfahrens sind im Zusammenhang mit den vorteilhaften Ausführungsvarianten in der Speicheranlage sinngemäß beschrieben.

[0030] Weiterhin kann vorteilhaft vorgesehen sein, dass der Reaktionsraum vor der Be- und/oder Entladung mit einer maximalen Füllhöhe des Feststoffes innerhalb des Reaktionsraums von $4/5$, vorzugsweise $3/4$ oder $2/3$ einer Höhe des Reaktionsraums befüllt wird. Auf diese Weise kann, trotz einer gegebenenfalls auftretenden Volumenänderung des Feststoffes während der Hin- bzw. Rückreaktion, ein Austrag des Feststoffes in die Eintragsvorrichtung vermieden werden.

[0031] In bevorzugten Entladungsvarianten kann die bei der Entladung abgegebene Wärmeenergie mittels eines den Reaktionsraum in thermischem Kontakt (z. B. durch den Zwischenraum) umströmenden Wärmeträgerfluids aufgenommen und, insbesondere mittels einer Wärmeübertragungseinrichtung, zur Nutzung zur Verfügung gestellt werden. Zusätzlich oder alternativ kann bei der Entladung ein Überschuss an Reaktionsfluid in den Reaktionsraum zugegeben werden, welches unter Aufnahme von Wärmeenergie verdampft und anschließend abgesaugt und, insbesondere mittels der Wärmeübertragungseinrichtung, zur Nutzung zur Verfügung gestellt wird.

[0032] Nachfolgend wird die Erfindung anhand von Ausführungsbeispielen unter Bezugnahme auf die Zeichnungen näher erläutert. Es zeigen:

Fig. 1A, B ein Verfahrensschema mit einer Speicheranlage zur thermochemischen Speicherung von Energie während der elektrischen Beladung (Fig. 1A) und der thermischen Entladung (Fig. 1B),

Fig. 2 eine schematische Schnittdarstellung einer Reaktorvorrichtung der Speicheranlage in axialer Draufsicht sowie einen mit der Reaktorvorrichtung in Strömungsverbindung stehenden Fluidkreislauf mit einer Förder-/Wärmeübertragungseinheit,

Fig. 3 eine seitliche Schnittdarstellung der mit Feststoff gefüllten Reaktorvorrichtung und

Fig. 4 eine Seitenansicht der Reaktorvorrichtung gemäß Fig. 3.

[0033] Fig. 1A und 1B zeigen eine Speicheranlage 1 zur thermochemischen Speicherung von Energie unter Verwendung eines Gas-Feststoff-Reaktionssystems. Die Speicheranlage 1 ist als Teil eines übergeordneten energetischen Systems dargestellt. Das übergeordnete System umfasst zumindest eine, insbesondere regenerative, Stromquelle 2, beispielsweise eine Fotovoltaik-Anlage. Die Stromquelle 2 ist hier beispielhaft mit einer elektrischen Stromsenke, umfassend zumindest einen elektrischen Verbraucher 3, elektrisch gekoppelt. Ein etwaiger Stromüberschuss 4 kann der Speicheranlage 1 zugeführt werden, die, hier beispielhaft unter Zwischenschaltung des Stromverbrauchers 3, ebenfalls mit der Stromquelle 2 in elektrischer Verbindung steht. Die Speicheranlage 1 umfasst weiterhin eine Wärmeübertragungseinrichtung 52, die mit einer Wärmesenke 5, hier beispielhaft umfassend eine Wärmespeichervorrichtung 6, thermisch gekoppelt ist.

[0034] Das Prinzip der thermochemischen Speicherung basiert auf dem Einsatz reversibler Sorptionsprozesse innerhalb eines Gas-Feststoff-Systems, wobei die Speicheranlage 1 mittels elektrischer Energie (elektrisch) beladbar ist. Bei der Beladung (vgl. Fig. 1A) wird die elektrische Energie aus der Stromquelle 2 zunächst in Wärme umgewandelt. Die Wärmeenergie wird einem, insbesondere als Schüttgut vorliegenden (partikulären), Feststoff 110 (vgl. Fig. 2) zugeführt. In einem ersten, energetisch unbeladenen, Zustand wird der Feststoff 110 beispielsweise von einem Metallhydroxid, z. B. Calciumhydroxid, gebildet. Bei der Wärmeenergiezufuhr reagiert das Metallhydroxid in einer Hinreaktion unter Freisetzung eines Reaktionsfluids, beispielsweise Wasser bzw. Wasserdampf, zu einem zweiten (beladenen) Zustand, hier einem Metalloxid (z. B. Calciumoxid), in welchem der Feststoff 110 ein höheres chemisches Potenzial aufweist. Das Reaktionsfluid wird von dem Feststoff 110 getrennt gelagert, insbesondere wird der Wasserdampf von dem Metalloxid getrennt kondensiert. Das Metalloxid kann als Feststoff 110 gelagert werden.

[0035] Zur thermischen Entladung (vgl. Fig. 1B) wird der Feststoff 110 bzw. das Metalloxid wieder mit dem Reaktionsfluid in Verbindung gebracht. Nun findet die exotherme Rückreaktion statt, wobei die freiwerdende Reaktionswärme aus der Speicheranlage 1 ausgekoppelt und zur Nutzung der Wärmesenke 5 zugeführt werden kann.

[0036] Die Speicheranlage 1 umfasst eine Reaktorvorrichtung 10, in der die elektrische Beladung unter Ablauf der Hinreaktion und die thermische Entladung unter Ablauf der Rückreaktion stattfinden. Ferner weist die Speicheranlage 1 eine separate, von der Reaktorvorrichtung 10 getrennte Feststoffspeichervorrichtung 20 auf, die zwei voneinander getrennte Speicherräume 22, 24 umfasst. Innerhalb der Feststoffspeichervorrichtung 20 kann der Feststoff 110 getrennt von der Reaktorvorrichtung 10 und jeweils separat in dem ersten Zustand (in dem Speicherraum 22) und in dem zweiten Zustand (in dem Speicherraum 24) gelagert werden. Durch die Entkopplung der Speicherung von der Reaktorvorrichtung 10 können die entsprechenden Komponenten getrennt voneinander dimensioniert werden. So ergibt sich in der Regel eine vergleichsweise kompakte Reaktorvorrichtung 10, da darin nicht der gesamte benötigte Feststoffbedarf vorgehalten werden muss.

[0037] Zum Transport des Feststoffes 110 zwischen der Feststoffspeichervorrichtung 20 und der Reaktorvorrichtung 10 umfasst die Speicheranlage 1 eine Feststoffförderanordnung 40. Die Förderanordnung 40 kann beispielsweise durch eine Vakuumfördereinrichtung, oder eine andere zur Förderung von partikulärem Feststoff 110 geeignete Fördereinrichtung gebildet sein.

[0038] Zur Auskopplung der Wärmeenergie aus der Reaktorvorrichtung 10 und/oder zum Zubringen des Reaktionsfluids für die Rückreaktion weist die Speicheranlage 1 einen Fluidkreislauf 50 mit einer Wärmeübertragungseinrichtung 52 und einer (Fluid-) Fördereinrichtung 54 (vgl. Fig. 2) auf. Die Wärmeübertragungseinrichtung 52 ist vorzugsweise in Wärmeübertragungsverbindung zu der Wärmesenke 5 bzw. der Wärmespeichervorrichtung 6 angeordnet, die z. B. eine Kombispeichereinrichtung umfasst.

[0039] Fig. 2 zeigt einen Teil der Speicheranlage 1 mit der Reaktorvorrichtung 10 in axialer Draufsicht auf einen Querschnitt orthogonal zu einer Mittellängsachse L. Gemäß einem Kerngedanken der Erfindung ist die Reaktorvorrichtung 10 hinsichtlich des Leistungseintrages optimiert, der im Wesentlichen von dem Wärmeübergang bzw. dem Wärmeübergangskoeffizienten auf den insbesondere als Schüttgut vorliegenden Feststoff 110 abhängt. Dazu ist die Reaktorvorrichtung 10 hier beispielhaft zylindrisch ausgebildet und umfasst einen zylindrischen, von einem Innenmantel 104 umgebenen Reaktionsraum 102 zur Aufnahme des Feststoffes 110 während der Hin- und/oder Rückreaktion. Der Reaktionsraum 102 ist symmetrisch um eine Mittellängsachse L angeordnet, die z. B. (im Wesentlichen) horizontal oder vertikal verlaufen kann.

[0040] Zum Zwecke der Verbesserung des Wärmeübergangs ist in dem Reaktionsraum 102 eine Mischeinrichtung angeordnet, mittels der der Feststoff 110 während der Hin- und/oder Rückreaktion umgelagert, insbesondere (je nach Drehzahl) verwirbelt, werden kann. Durch die Umlagerung bzw. Verwirbelung in Art einer mechanischen Wirbelschicht treten während der Beladung eine Vielzahl von Feststoff-Partikeln wiederholt mit den wärmeübertragenden Flächen innerhalb des Reaktionsraums 102 in thermischen Kontakt. Dadurch kann die Leistungsdichte z. B. im Vergleich zu Festbettreaktoren bei vergleichbarer Temperaturdifferenz wesentlich erhöht werden.

[0041] Die Mischeinrichtung weist eine auf der Mittellängsachse L verlaufende Welle 114 und einer um die Welle 114 rotierbare Rotationsanordnung 112 auf. Die Welle 114 ist mittels einer gasdicht ausgebildeten Lagereinrichtung 130 (vgl. Fig. 3) insbesondere im Wesentlichen horizontal gelagert. Die Rotationsanordnung umfasst hier beispielhaft drei sich radial erstreckender Arme 116, an deren radial nach außen gerichteten Enden zur Bildung einer Art Schaufelrad

jeweils eine Schaufelvorrichtung 118 angeordnet ist. Die Arme 116 mit den Schaufelvorrichtungen 118 erstrecken sich derart bis an die Innenwand des Innenmantels 104, dass die Rotationsanordnung 112 ohne Wandkontakt rotierbar ist. Durch die Schaufelvorrichtungen 118 ist während der Rotation eine vergleichsweise große Menge an Feststoff 110 umlagerbar. Durch eine derartige Ausbildung der Mischeinrichtung kann eine Agglomeration des Feststoffes 110 verhindert oder diese gegebenenfalls direkt wieder aufgebrochen werden. Neben einem verbesserten Wärmeübergang erleichtert dies den Abtransport des Feststoffes 110 durch die Förderanordnung 40, wobei die Rotationsanordnung 112 eine vollständige automatisierte Entleerung unterstützen kann.

[0042] Die Reaktorvorrichtung 10 weist eine Wärmeeintragsanordnung auf, die vorzugsweise den Innenmantel 104 und/oder zumindest einen Teil der Mischeinrichtung umfasst. Dabei sind insbesondere der Innenmantel 104, z. B. auch umfassend zwei Stirnseiten 132, 134 (vgl. Fig. 3), und/oder z. B. die Arme 116 und/oder Schaufelvorrichtungen 118 für eine konstante, maximale Beladetemperaturregelbarkeit, elektrisch und/oder induktiv beheizbar ausgebildet. Zur elektrischen Beheizung des Innenmantels können beispielsweise auf dessen Außenwand elektrische Heizelemente angebracht sein. Auch eine Infrarot- und/oder Mikrowellenbestrahlung für den Wärmeeintrag ist z. B. möglich.

[0043] In der in Fig. 2 gezeigten Ausführungsvariante weist die Reaktorvorrichtung 10 einen zylindrischen Außenmantel 106 auf, der zumindest den zylindrischen Teil, ggf. auch die beiden Stirnseiten 132, 134 des Innenmantels 104 unter Bildung eines fluiddurchströmbaren Zwischenraums 108 umschließt. Das (Wärmeträger-)Fluid kann dem Zwischenraum 108 über eine Anschlussvorrichtung 128 (vgl. Fig. 3), die insbesondere einen Stutzen umfasst, zugeführt und z. B. über eine weitere Anschlussvorrichtung 128 (vgl. Fig. 3), die insbesondere einen weiteren Stutzen umfasst, diesem entnommen werden. So kann der Reaktionsraum 102 z. B. während der thermischen Entladung für den Wärmeaustausch von einem Wärmeträgerfluid umströmt werden. In Kombination mit der elektrischen Beheizbarkeit des Innenmantels 104 sind etwaige auf der Außenfläche des Innenmantels 104 angeordnete, elektrische Heizelemente entsprechend fluiddicht ausgebildet.

[0044] Die Reaktorvorrichtung 10 weist eine an deren Oberseite, im zylindrischen Teil der des Außen- bzw. Innenmantels 106, 104, angeordnete Eintragsvorrichtung 120 auf, mittels der der Feststoff 110 unter Schwerkrafteinwirkung in den Reaktionsraum 102 eingebracht werden kann. Eine Austragsvorrichtung 122 ist vorzugsweise an der der Oberseite gegenüberliegenden Unterseite, vorzugsweise an der tiefsten Stelle des Reaktionsraums 10, z. B. der Eintragsvorrichtung 120 gegenüberliegend angeordnet. Zur Vermeidung von Brückenbildung und Verstopfungen der Eintragsvorrichtung 120 und/oder der Austragsvorrichtung 122 sind diese insbesondere als zylindrische Öffnungen und/oder Stutzen ausgebildet und weisen einen Minstdurchmesser von 50 mm, vorzugsweise von 70 mm, z. B. von 76 mm auf.

[0045] Fig. 2 zeigt weiterhin schematisch eine Ausführungsvariante des Fluidkreislaufs 50. Dabei umfasst der Fluidkreislauf 50 neben der Wärmeübertragungseinrichtung 52 die Fördereinrichtung 54, die insbesondere als Pumpe und/oder Verdichter ausgebildet ist. Die Wärmeübertragungseinrichtung 52 und die Fördereinrichtung 54 sind, für eine kompakte Bauweise mit geringer Komponentenanzahl, in einer Förder-/Wärmeübertragungseinheit 56 zusammengefasst. Als besonders effizient hat sich herausgestellt, wenn die Förder-/Wärmeübertragungseinheit 56 eine Ringpumpenanordnung umfasst bzw. von dieser gebildet ist. Hierbei kann vorteilhafterweise das Kühlfluid für die Ringpumpenanordnung als (zweites) Wärmeträgerfluid fungieren, welches die Wärme an die Wärmesenke 5, beispielsweise an die Wärmespeichervorrichtung 6, überträgt. Effizienterweise wird im Betrieb das Wärmeträgerfluid und/oder Reaktionsfluid aus der Reaktorvorrichtung 10 innerhalb der Ringpumpenanordnung kondensiert, wobei zusätzlich die Kondensationswärme genutzt werden kann. Vorteilhafterweise ist das Kühlfluid bzw. (zweite) Wärmeträgerfluid aus dem gleichen Fluid gebildet wie das Reaktionsfluid bzw. Wärmeträgerfluid, z. B. aus Wasser. So kann das Reaktionsfluid nach der Kondensation von dem Kühlfluid aufgenommen werden und die beide Fluide brauchen nicht voneinander separiert zu werden.

[0046] Mittels des Fluidkreislaufs 50 ist das Reaktionsfluid in den Reaktionsraum 102 einbringbar und/oder aus diesem abführbar. Bei der in Fig. 2 gezeigten Variante steht der Fluidkreislauf 50 mit dem Zwischenraum 108 in Strömungsverbindung. Dabei ist z. B. zunächst das Reaktionsfluid in Funktion als Wärmeträgerfluid in den Zwischenraum 108 einbringbar, z. B. mittels einer Anschlussvorrichtung 128 (vgl. Fig. 3). Nach Durchströmen des Zwischenraums 108 kann das Reaktionsfluid, z. B. über eine weitere Anschlussvorrichtung 128, dem Fluidkreislauf 50 und darüber der Förder-/Wärmeübertragungseinheit 56 zugeführt werden. Dort gibt es insbesondere während der thermischen Entladung Wärme ab und kondensiert dabei. Das nun flüssige Reaktionsfluid wird anschließend vorzugsweise einer Fluideintrageinrichtung 124 der Reaktorvorrichtung 10 zugeführt und darüber zur Reaktion mit dem Feststoff 110 in den Reaktionsraum 102 eingebracht.

[0047] Die Fluideintrageinrichtung 124 ist vorzugsweise außerhalb des Reaktionsraums 102, insbesondere in der Eintragsvorrichtung 120 angeordnet. Um eine Verstopfung der Fluideintrageinrichtung 124 zu verhindern, hatte sich als vorteilhaft herausgestellt, wenn der Abstand zu dem Reaktionsraum 102 beispielsweise mindestens 50 mm, vorzugsweise mindestens 70, z. B. 80 mm beträgt. Die Fluideintrageinrichtung 124 umfasst, für eine optimierte Verteilung des Reaktionsfluids auf den Feststoff 110, eine Zerstäubereinrichtung, insbesondere eine Zerstäuberdüse.

[0048] Weitere Einzelheiten der Reaktorvorrichtung 10 sind aus den Figuren 3 und 4 ersichtlich. Wie Fig. 3 zeigt, kann die Reaktorvorrichtung 10 weiterhin eine Anschlussvorrichtung 126 als Strömungsverbindung zu dem Reaktionsraum 102 umfassen, an welchen der Fluidkreislauf 50 angeschlossen sein kann. Mittels der Anschlussvorrichtung 126 ist

beispielsweise bei der Hinreaktion freiwerdendes Reaktionsfluid und/oder während der Rückreaktion verdampfendes, überschüssiges Reaktionsfluid aus dem Reaktionsraum 102 entnehmbar. Die Anschlussvorrichtung 126 ist vorzugsweise außerhalb des Reaktionsraums 102, insbesondere in der Eintragsvorrichtung 120 angeordnet. Um eine Verstopfung der Anschlussvorrichtung 126 zu vermeiden, hat sich beispielsweise ein Abstand von mindestens 50 mm, vorzugsweise mindestens 70 mm, z. B. 80 mm zu dem Reaktionsraum 102 als vorteilhaft erwiesen.

[0049] In der Austragsvorrichtung 122 ist eine insbesondere pneumatische Schließeinheit angeordnet. Die Schließeinheit umfasst eine tellerartige Schließeinrichtung 136 und eine Stelleinrichtung 138, mittels der der Reaktionsraum 102 während der Hin- und/oder Rückreaktion fluiddicht verschließbar ist. In einer vorteilhaft hitzebeständigen Ausbildung ist die Stelleinrichtung 138 insbesondere unter Zwischenordnung eines Isoliermittels 140, z. B. einer Keramikscheibe, thermisch entkoppelt von der Reaktorvorrichtung 10 angeordnet.

[0050] Aus Fig. 3 ist eine beispielhafte Füllhöhe H des Feststoffes 110 während der Be- bzw. Entladung ersichtlich. Die Füllhöhe H ist vorzugsweise geringer als die Höhe des Reaktionsraums 102 und beträgt (in thermisch beladenem, d.h. von Reaktionsfluid entladene Zustand des Feststoffes 110) beispielsweise maximal 3/4, vorzugsweise 2/3 der (maximalen) Höhe, z. B. des Durchmessers, des Reaktionsraums 102, um einen Austrag des Feststoffes aus dem Reaktionsraum 102 in die Eintragsvorrichtung 120 zu vermeiden.

[0051] Wie Fig. 4 zeigt, ist eine Antriebseinrichtung 142 der Mischeinrichtung von dem Reaktionsraum 102 thermisch entkoppelt angeordnet. Dabei ist beispielsweise die Welle 114 über eine gewisse Distanz, beispielsweise über mindestens 100 mm, ohne Isolierung ausgebildet, um eine Luftkühlung zu erreichen. Auf diese Weise kann die Reaktorvorrichtung 10 ohne Schädigung der Antriebseinrichtung 142 mit hohen Temperaturen, z. B. bis zu 600 °C oder höher, betrieben werden. Zu diesem Zweck dient auch ein Isoliermittel 144, insbesondere eine zumindest 50 mm dicke Keramikscheibe, das zwischen einer Tragvorrichtung 146 der Reaktorvorrichtung 10 und der Stirnseite 132 angeordnet ist.

[0052] Die Speicheranlage 1 kann insbesondere für eine Langzeitspeicherung zur Wärmeversorgung einer mit Wärme zu versorgenden Einheit dimensioniert sein. Die Beladung findet z. B. (überwiegend) während einer Warmperiode, insbesondere einer Sommersaison, und die Entladung während einer Kaltperiode, insbesondere einer Wintersaison statt. Dabei sind insbesondere die Feststoffspeichervorrichtung 20 und/oder die Reaktorvorrichtung 10 unter Berücksichtigung der bereitzustellenden Leistung entsprechend ausgelegt bzw. dimensioniert. Während der Warmperiode kann insbesondere ein (vollständiger) elektrischer Beladezyklus und innerhalb der Kaltperiode ein (vollständiger) thermischer Entladezyklus ablaufen. Während eines Zyklus wird vorzugsweise der gesamte Feststoff 110 innerhalb der Speicheranlage 1 be- bzw. entladen.

[0053] Jedoch ist auch ein alternierender Betrieb der Speicheranlage 1 möglich, wobei nicht ein kompletter Zyklus abläuft, sondern nur ein Teil des Feststoffes 110, z. B. mindestens eine Charge an Feststoff 110, beladen und anschließend ein Teil des Feststoffes, z. B. mindestens eine Charge an Feststoff 110, entladen wird. Die Speicheranlage 1 kann so flexibel und schnell auf Fluktuationen im Energieangebot und Bedarf reagieren. Ein derartiger Betrieb kann insbesondere in einem Übergangszeitraum zwischen einer Kalt- bzw. Warmperiode und einer Warm- bzw. Kaltperiode (z. B. Herbst oder Frühling) zweckmäßig sein.

[0054] Im Betrieb der Speicheranlage 1 wird in der Warmphase nach und nach vorzugsweise der gesamte Feststoff-Inhalt des Speicherraums 22 von dem entladenen, ersten Zustand in den beladenen, zweiten Zustand überführt. Dazu wird jeweils bei einem zur Verfügung stehenden Überschuss an elektrischer Energie zumindest eine Charge an Feststoff 110, entsprechend einer Füllmenge des Reaktionsraums 110, in die Reaktorvorrichtung 10 gefördert. Dort findet unter Freiwerden und Abführen des Reaktionsfluids die elektrische Beladung des Feststoffes 110 statt. Bei Calciumhydroxid als Feststoff wird dieser z. B. auf Temperaturen bis 600 °C erhitzt, wobei ab ca. 450° die endotherme Hinreaktion (Dehydratisierung) stattfindet. Das abgeführte Reaktionsfluid kann z. B. der Wärmeübertragungseinrichtung 52 zur energetischen Nutzung zugeführt werden. Nach dem Beladevorgang wird der, nun in dem zweiten Zustand vorliegende, Feststoff 110 in den anderen Speicherraum 24 gefördert und dort gelagert. Je nach Energieverfügbarkeit können mehrere Chargen hintereinander beladen werden. Vorzugsweise liegt am Ende der Warmperiode der gesamte in der Feststoffspeichervorrichtung 20 vorgehaltene Feststoff 110 in dem zweiten Zustand vor.

[0055] Während der Kaltperiode, z. B. sobald der Wärmebedarf ein Wärmeangebot durch erneuerbare Energiequellen übersteigt, kann die Speicheranlage 1 thermisch entladen werden. Dies kann insbesondere chargenweise geschehen, je nach Wärmebedarf der zu versorgenden Einheit. Dazu wird bei Wärmebedarf zumindest eine Charge an beladenem Feststoff 110 in die Reaktorvorrichtung 10 gefördert. Dort findet unter Zugabe des insbesondere flüssigen, zerstäubten Reaktionsfluids in den Reaktionsraum 102 die thermische Entladung des Feststoffes 110 statt. Die freigesetzte Wärme kann durch ein den Zwischenraum 108 durchströmendes Wärmeträgerfluid aufgenommen und z. B. mittels der Wärmeübertragungseinrichtung 52 zur Nutzung zur Verfügung gestellt werden. Zusätzlich oder alternativ kann auch ein Überschuss an Reaktionsfluid in den Reaktionsraum 102 zugegeben werden. Das überschüssige Reaktionsfluid verdampft und kann anschließend insbesondere mittels der Anschlussvorrichtung 126 abgesaugt und mittels der Wärmeübertragungseinrichtung 52 zur Nutzung zur Verfügung gestellt werden. Nach dem Entladevorgang wird der, nun wieder in dem ersten Zustand vorliegende, Feststoff 110 in den Speicherraum 22 gefördert und dort bis zum Einsatz beim nächsten Zyklus gelagert. Je nach Wärmebedarf können mehrere Chargen hintereinander entladen werden. Vorzugs-

weise liegt am Ende der Kaltperiode der gesamte in der Feststoffspeichervorrichtung 20 vorgehaltene Feststoff 110 in dem ersten Zustand vor.

[0056] Zusammenfassend wird durch die erfindungsgemäße Ausbildung eine Speicheranlage 1 bereitgestellt, die mit einer hohen Leistungsdichte effizient betreibbar ist, wobei der Prozess aufgrund des geringen Störpotenzials gut automatisierbar ist.

Patentansprüche

1. Speicheranlage (1) zur thermochemischen Speicherung von Energie, mit einer Reaktorvorrichtung (10) umfassend einen von einem Innenmantel (104) eingefassten Reaktionsraum (102), innerhalb dessen ein Feststoff (110) während einer Beladung in einer Hinreaktion unter Zufuhr von Wärmeenergie von einem ersten Zustand unter Abgabe eines Reaktionsfluids in einen zweiten Zustand überführbar ist und während einer Entladung in einer Rückreaktion unter Abgabe von Wärmeenergie von dem zweiten Zustand unter Aufnahme des Reaktionsfluids in den ersten Zustand überführbar ist,
dadurch gekennzeichnet,
dass der Reaktionsraum (102) eine Mischeinrichtung umfasst, mittels welcher der Feststoff (110) während der Hin- und/oder Rückreaktion umlagerbar, insbesondere verwirbelbar, ist.
2. Speicheranlage (1) nach Anspruch 1,
dadurch gekennzeichnet,
dass eine Antriebseinrichtung (142) der Mischeinrichtung, insbesondere durch eine entsprechende Anordnung einer Welle (114), von dem Reaktionsraum (102) thermisch entkoppelt angeordnet ist und insbesondere ,
dass der Reaktionsraum (102) um eine Mittellängsachse (L) angeordnet ist und die Mischeinrichtung die auf der Mittellängsachse (L) verlaufende Welle (114) und eine um die Welle (114) rotierbare Rotationsanordnung (112) mit zumindest einem sich radial erstreckenden Arm (116) aufweist.
3. Speicheranlage (1) nach Anspruch 2,
dadurch gekennzeichnet,
dass der Innenmantel (104) zylindrisch ausgebildet ist und
dass sich das radial nach außen gerichtete Ende des Arms/der Arme (116) bis an die Innenwand des Innenmantels (104) erstreckt, wobei insbesondere an dem Ende des Arms/der Arme (116) eine Schaufelvorrichtung (118) angeordnet bzw. das Ende von der Schaufelvorrichtung (118) gebildet ist.
4. Speicheranlage (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Reaktorvorrichtung (10) eine Wärmeeintragsanordnung aufweist, wobei zumindest ein Teil des Innenmantels (104) und/oder ein Teil der Mischeinrichtung elektrisch und/oder induktiv beheizbar sind und/oder wobei dem Reaktionsraum (102) zugesetzte Strukturen und/oder der Feststoff (110) induktiv und/oder mittels Bestrahlung beheizbar ist/sind.
5. Speicheranlage (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Reaktorvorrichtung (10) einen Außenmantel (106) aufweist, der zumindest einen Teil des Innenmantels (104) unter Bildung eines fluiddurchströmbaren Zwischenraums (108) umgibt.
6. Speicheranlage (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Reaktorvorrichtung (10) eine Eintragsvorrichtung (120) zum Eintrag des Feststoffes (110) und eine, insbesondere der Eintragsvorrichtung (120) gegenüberliegend angeordnete, Austragsvorrichtung (122) aufweist und
dass die Reaktorvorrichtung (10) eine Anschlussvorrichtung (126) mit einem Fluideinlass zur Abführung des Reaktionsfluids aus dem Reaktionsraum (102) aufweist, wobei insbesondere der Fluideinlass außerhalb des Reaktionsraums (102), z. B. innerhalb der Eintragsvorrichtung (120), angeordnet ist.
7. Speicheranlage (1) nach Anspruch 6,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Eintragsvorrichtung (120) und/oder die Austragsvorrichtung (122) zylindrisch ausgebildet sind und einen Mindestdurchmesser von 50 mm, vorzugsweise einen Mindestdurchmesser von 70 mm, insbesondere einen Min-

destdurchmesser von 76 mm, aufweisen.

8. Speicheranlage (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche,

dadurch gekennzeichnet,

dass die Reaktorvorrichtung (10) eine Fluideintrageinrichtung (124) mit einem Fluidauslass aufweist, mittels dessen das, insbesondere für die Rückreaktion benötigte, Reaktionsfluid in den Reaktionsraum (102) einbringbar ist, wobei der Fluidauslass zur Zerstäubung des Reaktionsfluids ausgebildet ist, und dass der Fluidauslass außerhalb des Reaktionsraums (102), insbesondere innerhalb der Eintragsvorrichtung (120), angeordnet ist, wobei der Abstand vorzugsweise mindestens 30 mm, besonders bevorzugt mindestens 50 mm, z. B. 80 mm beträgt.

9. Speicheranlage (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche,

dadurch gekennzeichnet,

dass die Reaktorvorrichtung (10) eine pneumatische Schließeinheit mit einer, insbesondere in der Austragsvorrichtung (122) angeordneten, Schließeinrichtung (136) und einer Stelleinrichtung (138) umfasst, mittels der der Reaktionsraum (102) während der Hin- und/oder Rückreaktion fluiddicht verschließbar ist, wobei die Stelleinrichtung (138) von dem Reaktionsraum (102) thermisch entkoppelt ist.

10. Speicheranlage (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche,

dadurch gekennzeichnet,

dass die Speicheranlage (1) einen Fluidkreislauf (50) mit einer Wärmeübertragungseinrichtung (52) und einer Fördereinrichtung (54) umfasst, mittels dessen Reaktionsfluid und/oder Wärmeträgerfluid aus der Reaktorvorrichtung (10), insbesondere aus dem Reaktionsraum (102) und/oder aus dem Zwischenraum (108), förderbar und unter Wärmeabgabe durch die Wärmeübertragungseinrichtung (52) leitbar ist und

dass die Wärmeübertragungseinrichtung (52) und Fördereinrichtung (54) insbesondere in einer Förder-/Wärmeübertragungseinheit (56) angeordnet sind, wobei die Wärmeübertragungseinrichtung (52) zur Wärmeübertragung an ein zweites, insbesondere durchströmendes, Wärmeträgerfluid ausgebildet ist.

11. Speicheranlage (1) nach Anspruch 12,

dadurch gekennzeichnet,

dass die Förder-/Wärmeübertragungseinheit (56) als Ringpumpenanordnung ausgebildet ist, wobei im Betrieb das zweite Wärmeträgerfluid durch ein Kühlfluid der Ringpumpenanordnung gebildet ist.

12. Speicheranlage (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche,

dadurch gekennzeichnet,

dass die Speicheranlage (1) zwei getrennte Speicherräume (22, 24), zur separaten Speicherung des Feststoffes (110) in dem ersten Zustand und in dem zweiten Zustand außerhalb des Reaktionsraums (102) aufweist.

13. Speicheranlage (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche,

dadurch gekennzeichnet,

dass die Speicheranlage (1) für eine Langzeitspeicherung zur Wärmeversorgung einer mit Wärme zu versorgenden Einheit ausgebildet ist, wobei die Beladung während einer Warmperiode und die Entladung während einer Kaltperiode stattfinden kann.

14. Verfahren zur thermochemischen Speicherung von Energie mit einer Speicheranlage (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem innerhalb eines Reaktionsraums (102) einer Reaktorvorrichtung (10) ein Feststoff (110) während einer Beladung in einer Hinreaktion unter Zufuhr von Wärmeenergie von einem ersten Zustand unter Abgabe eines Reaktionsfluids in einen zweiten Zustand überführt wird und während einer Entladung in einer Rückreaktion unter Abgabe von Wärmeenergie von dem zweiten Zustand unter Aufnahme des Reaktionsfluids in den ersten Zustand überführt wird,

dadurch gekennzeichnet,

dass in dem Reaktionsraum (102) der Feststoff (110) mittels einer Mischeinrichtung während der Hin- und/oder Rückreaktion umgelagert, insbesondere verwirbelt, wird.

15. Verfahren nach Anspruch 14,

dadurch gekennzeichnet,

dass der Reaktionsraum (102) vor der Be- und/oder Entladung mit einer maximalen Füllhöhe (H) des Feststoffes (110) innerhalb des Reaktionsraums (102) von 4/5, vorzugsweise 3/4 oder 2/3 einer Höhe des Reaktionsraums (102) befüllt wird und insbesondere

dass die bei der Entladung abgegebene Wärmeenergie mittels eines den Reaktionsraum (102) in thermischem Kontakt umströmenden Wärmeträgerfluids aufgenommen und, insbesondere mittels einer Wärmeübertragungseinrichtung (52), zur Nutzung zur Verfügung gestellt wird und/oder

dass bei der Entladung ein Überschuss an Reaktionsfluid in den Reaktionsraum (102) zugegeben wird, welches unter Aufnahme von Wärmeenergie verdampft und anschließend abgesaugt und, insbesondere mittels der Wärmeübertragungseinrichtung (52) zur Nutzung zur Verfügung gestellt wird.

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

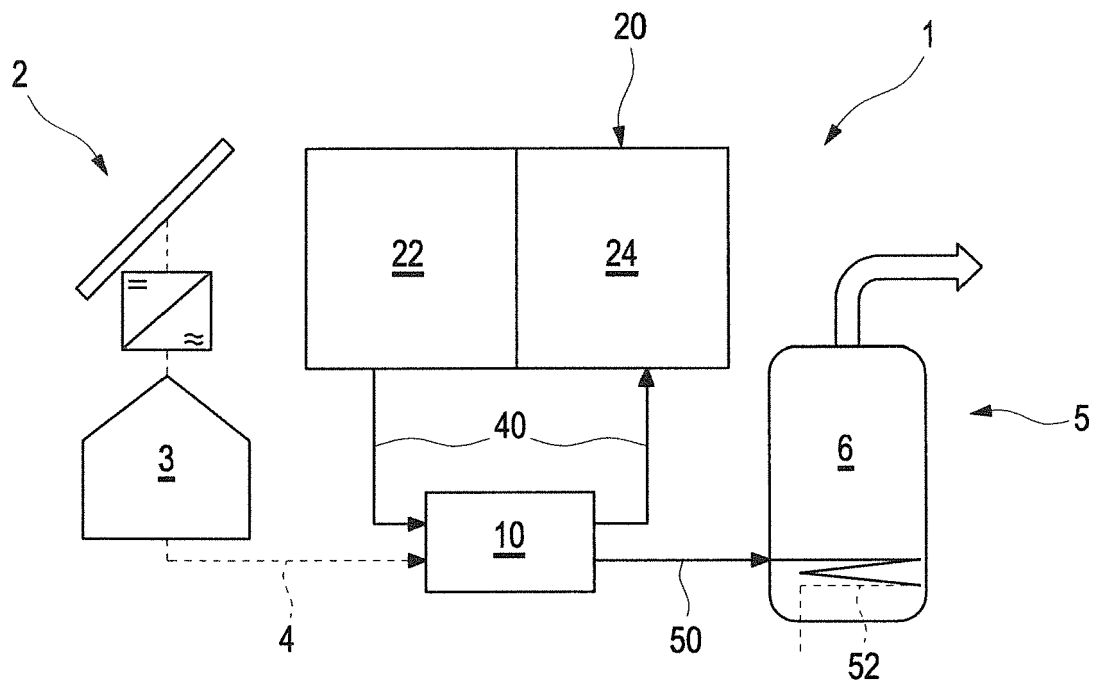


Fig. 1 A

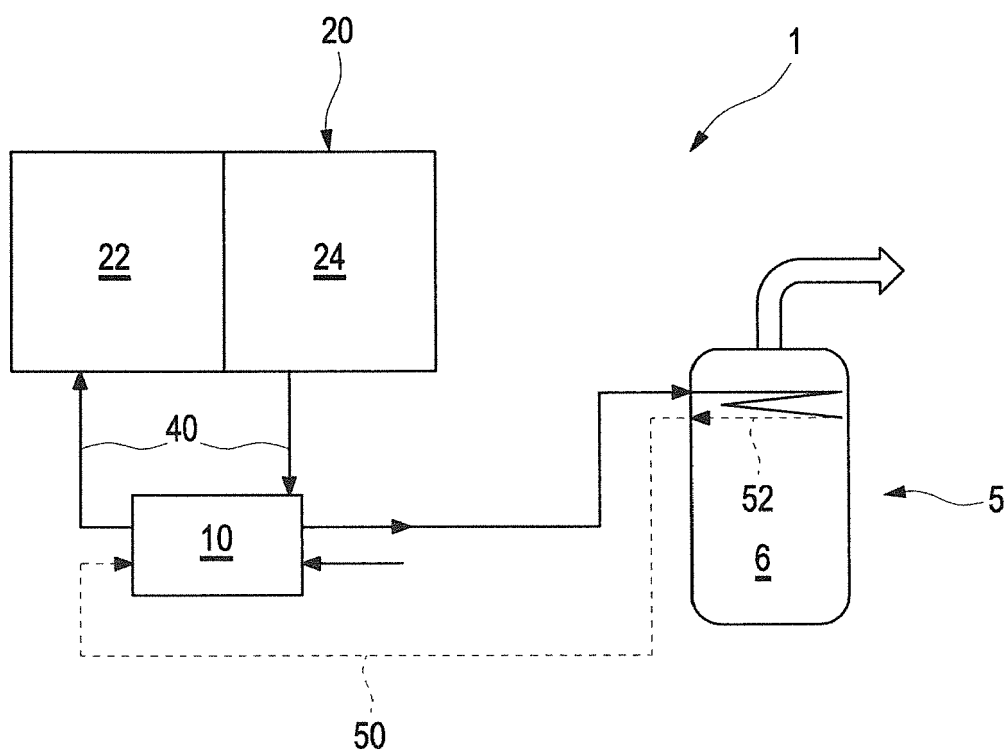


Fig. 1 B

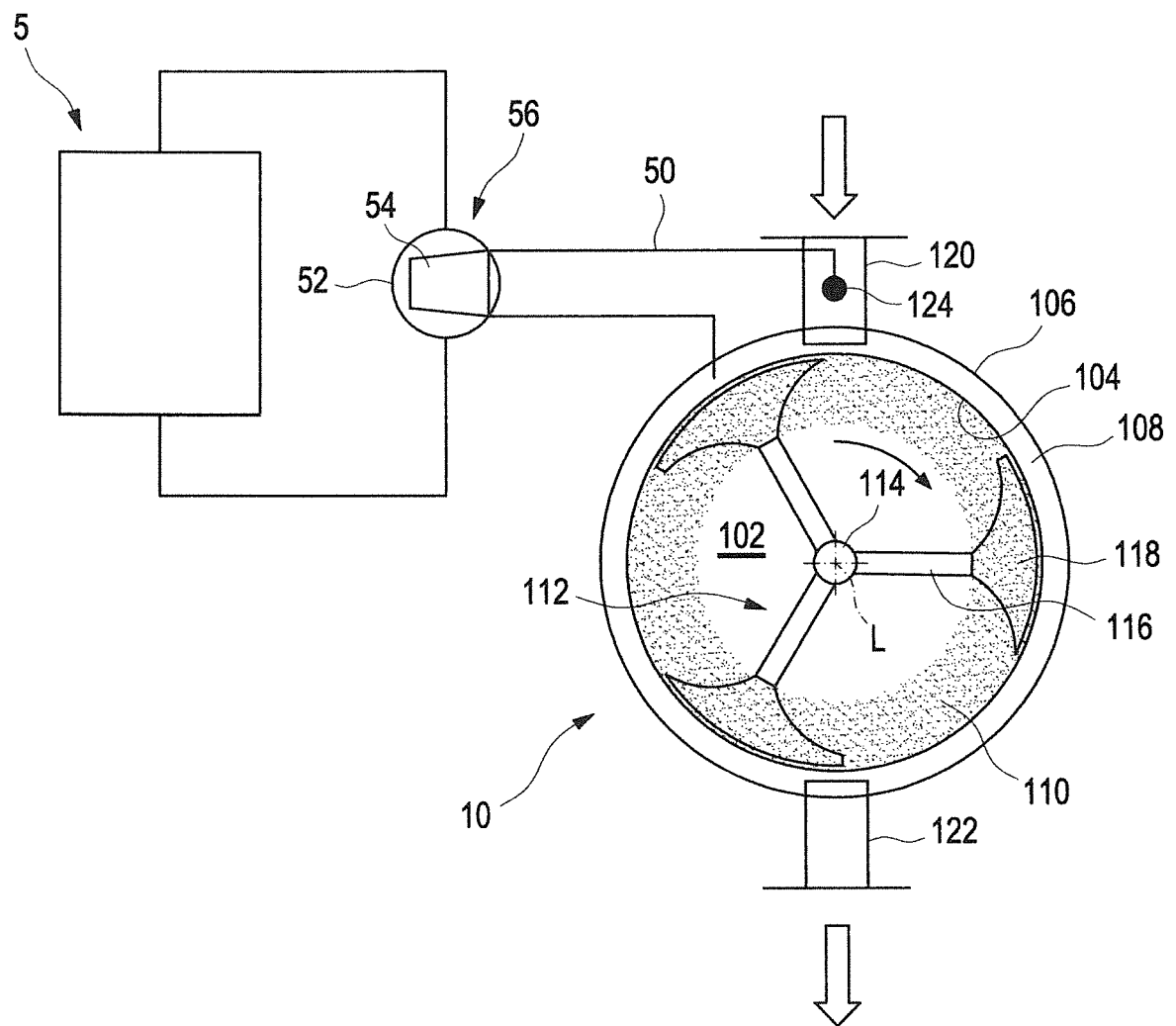


Fig. 2

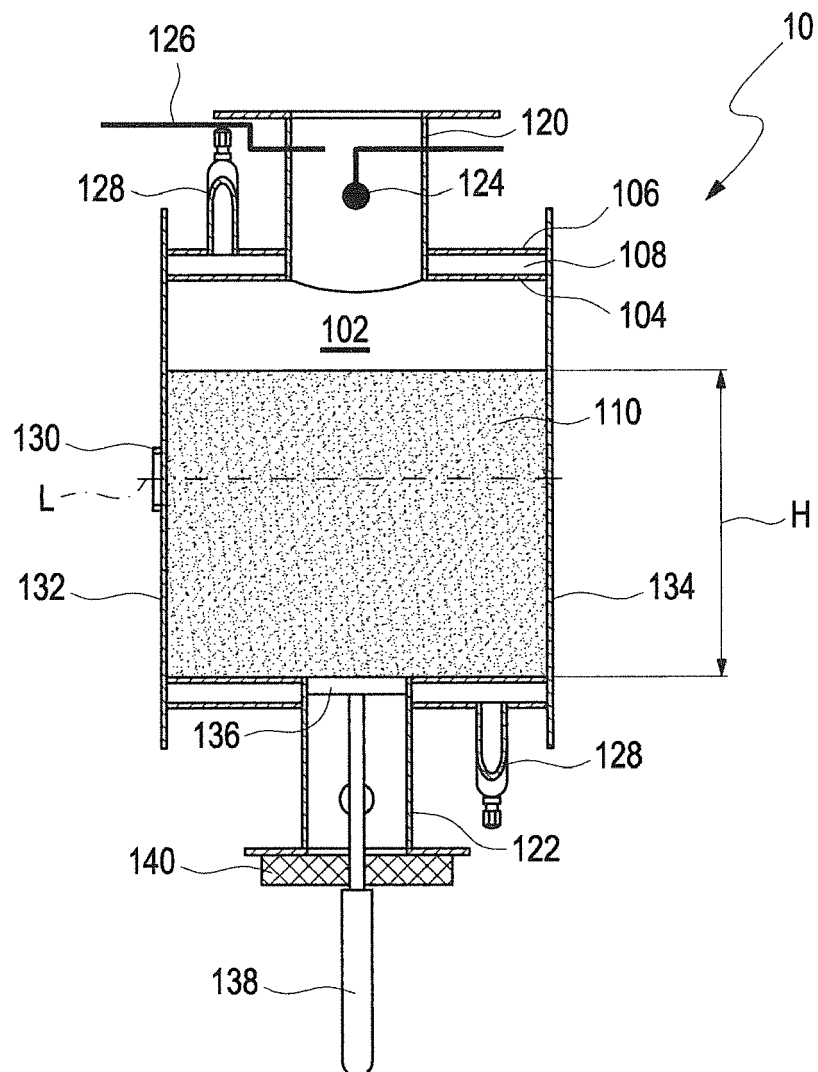


Fig. 3

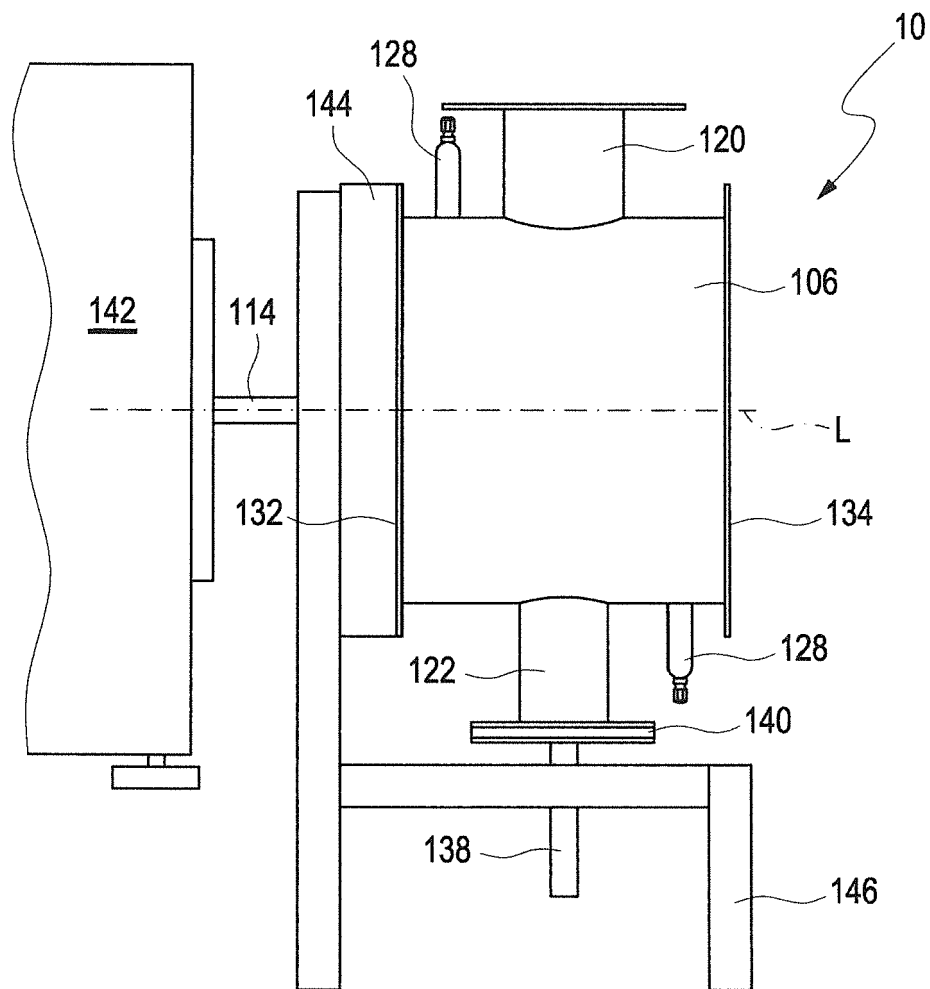


Fig. 4



EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

 Nummer der Anmeldung
 EP 20 19 5858

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
X	US 3 955 554 A (COLLIE ROBERT L) 11. Mai 1976 (1976-05-11) * Abbildungen *	1,2,4-15	INV. F28D20/003
X	----- KR 101 783 385 B1 (KOREA INST SCI & TECH [KR]) 10. Oktober 2017 (2017-10-10) * Abbildungen *	1,2,4-15	
X	----- FR 3 004 245 A1 (COMMISSARIAT ENERGIE ATOMIQUE [FR]) 10. Oktober 2014 (2014-10-10) * Abbildungen *	1,14	

			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC)
			F28D
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort München		Abschlußdatum der Recherche 8. Dezember 2020	Prüfer Mellado Ramirez, J
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : mündliche Offenbarung P : Zwischenliteratur		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	

EPO FORM 1503 03.82 (P04C03)

**ANHANG ZUM EUROPÄISCHEN RECHERCHENBERICHT
 ÜBER DIE EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG NR.**

EP 20 19 5858

5 In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten europäischen Recherchenbericht angeführten Patentdokumente angegeben.
 Die Angaben über die Familienmitglieder entsprechen dem Stand der Datei des Europäischen Patentamts am
 Diese Angaben dienen nur zur Unterrichtung und erfolgen ohne Gewähr.

08-12-2020

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 3955554 A	11-05-1976	KEINE	
KR 101783385 B1	10-10-2017	KEINE	
FR 3004245 A1	10-10-2014	DK 2984435 T3	08-01-2018
		EP 2984435 A1	17-02-2016
		FR 3004245 A1	10-10-2014
		PL 2984435 T3	28-02-2018
		WO 2014166878 A1	16-10-2014

EPO FORM P0461

Für nähere Einzelheiten zu diesem Anhang : siehe Amtsblatt des Europäischen Patentamts, Nr.12/82

IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde ausschließlich zur Information des Lesers aufgenommen und ist nicht Bestandteil des europäischen Patentdokumentes. Sie wurde mit größter Sorgfalt zusammengestellt; das EPA übernimmt jedoch keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente

- DE 102009052304 A1 **[0004]**
- DE 102014101987 A1 **[0005]**
- DE 102015101214 A1 **[0005]**
- DE 102015217683 A1 **[0006]**
- DE 102007014230 B4 **[0007]**